

AMTLICHE MATERIALPRÜFANSTALT FÜR DAS BAUWESEN

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. DR. ING. E. h. K. KORDINA · PROF. DR.-ING. F. S. ROSTASY

Untersuchungen von Nagelplatten
auf Korrosionsverhalten in Kontakt
mit imprägniertem Holz

Abschlußbericht

erstattet von

Dr.-Ing. Axel Lämmke

1. April 1987

Gefördert mit Hilfe von Forschungsmitteln des Landes Niedersachsen

<u>Inhalt</u>	Seite
1. Einleitung	3
2. Probenherstellung	6
2.1 Ausgangsmaterial	6
2.1.1 Holz	6
2.1.2 Imprägnierung	7
2.1.2.1 Kesseldruckimprägnierung	7
2.1.2.2 Tauchimprägnierung mit SF-Salz	8
2.1.3 Nagelplatten	9
2.1.3.1 Form und Abmessung	9
2.1.3.2 Zinkschichtdicke	9
2.1.3.3 Biegeversuch	10
2.2 Herstellung der Probekörper	10
2.2.1 Form und Abmessung	10
2.2.2 Holzfeuchte	11
2.3 Lagerung der Probekörper	13
3. Untersuchung der Probekörper	13
3.1 Prüfung der Zugfestigkeit der Nagelplatten- verbindung	13
3.2 Untersuchung der Nagelplatten nach Beendigung der Versuche	15
3.2.1 Zinkschichtdicke	15
3.2.2 Biegeversuch	16
4. Ergebnisse	16
4.1 Zugfestigkeit der Nagelplattenverbindung . . .	17
4.2 Eigenschaften der Nagelplatten	17
4.2.1 Zinkschichtdicke nach Versuchsabschluß	17
4.2.2 Biegeversuch nach Versuchsabschluß	17
5. Litersturverzeichnis	19

22 Anlagen

1. Einleitung

Das Korrosionsverhalten von Metallen in Kontakt mit Holz ist verschiedentlich untersucht worden. Dabei hat sich gezeigt, daß nicht nur Feuchtigkeitsgehalt und Porenstruktur des Holzes den Korrosionsablauf beeinflussen, sondern daß auch holzartspezifische, natürliche Inhaltsstoffe erheblichen Einfluß auf das Korrosionsverhalten haben können. Diese Zusammenhänge führen zu einem einigermaßen komplexen Sachverhalt, der nach Literaturangaben zu stark unterschiedlichem Korrosionsverhalten von Metallen in verschiedenen Holzarten führt.

Für das Bauwesen lassen sich aus diesen Angaben nur wenig Rückschlüsse auf das Verhalten metallischer Holzverbindungsmitel im Gebrauchszustand ableiten. Es hat Ansätze gegeben, das Korrosionsverhalten von ungeschütztem Stahl gegenüber üblichem Bauholz, Fichte/Tanne und Kiefer, zu untersuchen und in einem Normprüfungsverfahren (DIN 52 168 Teil 2) zu beschreiben. Diese Norm ist als Entwurf 1982 erschienen. Aufgrund massiver, begründeter Einsprüche und sehr unterschiedlicher Prüfungsergebnisse in Ringversuchen mußte die Norm zurückgezogen werden. Versuche, ein verbessertes Normverfahren zur Prüfung des Korrosionsverhaltens von Stahl in Kontakt mit Holz auszuarbeiten, haben auch nach mehrjährigen Bemühungen keinen normungsfähigen Erfolg gebracht.

Bei diesen Versuchen wurde erstmalig die Beteiligung von Imprägniersalzen im Korrosionsablauf einbezogen. Es zeigte sich, daß bestimmte Salze die Korrosion ungeschützten Stahls im Vergleich zu unbehandeltem Holz fördern, während bei anderen Salztypen bei vorsichtiger Interpretation eine mögliche inhibierende Wirkung auf das Metall nicht auszuschließen war. Beim Vergleich von Metallproben in Kontakt mit unbehandeltem Holz und gleichartigen Proben mit imprägniertem Holz zeigte sich bei identischer Lagerung ein

verstärkter Flächenabtrag besonders durch fluorhaltige Holzschutzsalze, wobei das häufig verwendete Magnesiumsilicofluorid auffällig war. Allen fluorhaltigen Holzschutzmitteln ist die Bildung einer Gasphase aus Fluorwasserstoff oder Fluorokieselsäure gemeinsam. Eine Korrosionsförderung kann durch diese Säuren bei Gegenwart ausreichender Feuchtigkeit erklärt werden. Eine weitergehende Korrosionsförderung durch Fluoride ist nicht zu erwarten. Die von den Halogenen bekannte starke Korrosionsförderung bei Stahl und ebenso bei verzinkten Stählen betrifft nur die Elemente Chlor, Brom und evtl. Jod. Das Halogen Fluor hat sich in dieser Hinsicht als nicht reaktiv erwiesen.

Die in Versuchen beobachtete mögliche inhibierende Wirkung einiger Holzschutzmittel betrifft chromat- und borathaltige Produkte. Allgemein ist die inhibierende Wirkung von Boraten bekannt, die deswegen auch als Zusatz zu Kühlflüssigkeiten in metallischen Leitungssystemen, z.B. bei Kraftfahrzeugen, Verwendung finden. Ebenso ist das Chromatieren von Stählen und Zinkoberflächen ein bekanntes Passivierungsverfahren.

Bei den Vorversuchen zur Ausarbeitung eines geeigneten Prüfverfahrens zur Beurteilung des Korrosionsverhaltens metallischer Verbindungsmittel im Holzbau gegenüber imprägnierten Hölzern wurden ausschließlich Versuche an ungeschütztem Stahl zur Ermittlung des Flächenabtrags durchgeführt. Ungeklärt blieb in diesem Zusammenhang das Verhalten verzinkter Stähle, wie sie besonders bei Nagelplatten zur Holzverbindung verwendet werden. Ebenso wenig wurden Untersuchungen an Probekörpern durchgeführt, die einen Bezug zum statisch-konstruktiven Verhalten derartiger Nagelplattenverbindungen hatten. Insgesamt war befürchtet worden, daß die vergleichsweise großflächigen und dünnen Nagelplatten in Kontakt mit imprägnierten Hölzern einen erheblichen Korrosionsangriff mit deutlicher Festigkeitsminderung erleiden könnten. Das vorliegende Forschungs-

vorhaben stellt sich daher zur Aufgabe, diese Problematik zu untersuchen. Dabei sollte das Schwergewicht auf Festigkeitsuntersuchungen an Nagelplattenverbindungen liegen, die der Einwirkung von Holzschutzsalzen ausgesetzt waren.

Für die Untersuchungen wurden zwei Holzschutzsalze mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften ausgewählt. Einmal wurden Holzproben im Tauchverfahren mit Magnesiumsilicofluorid imprägniert, weitere Proben wurden im Kesseldruckverfahren mit einem Chrom-Kupfer-Borsalzgemisch getränkt. Als Vergleichsproben dienten unbehandelte Hölzer.

Aus den vorbehandelten Hölzern wurden 180 Probekörper hergestellt, die aus zwei jeweils mit Nagelplatten verbundenen gleichen Teilen bestanden. Diese Proben wurden ein und zwei Jahre im Freien unter Dach gelagert, die Festigkeit der Holz-Nagelplatten-Verbindung nach dieser Lagerung im Zugversuch bestimmt. Der Vergleich zwischen unbehandelten Hölzern und den mit unterschiedlichen Schutzsalzen getränkten Proben ermöglichte eine Aussage über das Korrosionsverhalten der Verbindungsmittel. Zusätzliche Untersuchungen wurden zur Ermittlung der Zinkschichtdicke an unverarbeiteten und an eingebauten Nagelplatten angestellt. Ebenso wurden die mechanischen Eigenschaften der Nagelplatten vor und nach Einwirkung der imprägnierten Hölzer durch den Biegeversuch bestimmt. Im Zusammenhang mit der Probenherstellung wurde eine weitere Serie Probekörper hergestellt, die zur Prüfung nach fünfjähriger Lagerungsdauer vorgesehen ist.

2. Probenherstellung

2.1 Ausgangsmaterial

2.1.1 Holz

Für die Untersuchungen waren Holzproben mit möglichst gleichmäßigen Wuchseigenschaften Voraussetzung. Wegen der großen Anzahl Probekörper und des erheblichen Verschnitts bei der Herstellung der Proben war es nicht möglich, alle Proben aus einem Stamm zu schneiden. Durch die Probenherstellung in einem kleinen Sägewerk war es jedoch möglich, Holzproben aus dem Einschlag eines Bestandes zu erhalten. Das Holz stammte aus einem Fichtenbestand in Harzrandlage.

Für die Festlegung der Wuchseigenschaften des Probeholzes waren die Prüfbestimmungen für Zulassungsprüfungen von Nagelplatten maßgebend. Danach waren die Rohdichte des Holzes, die mittlere Jahrringbreite und die Druckfestigkeit parallel zur Faser zu bestimmen. Nach augenscheinlicher Beurteilung des Stammholzes und der daraus geschnittenen Bohlen wurden für die Versuchszwecke Bohlen von 40 mm Dicke (Endmaß, gehobelt) und ca. 20 cm Breite geschnitten. Aus diesen Bohlen wurden die einzelnen Probekörper von 60 cm Länge hergestellt. Insgesamt wurden 180 solcher Probekörper benötigt.

Zur Bestimmung der Holzeigenschaften wurden unter Beachtung der Grundlagen für die Probenahme in DIN 52 180 Teil 1 Holzproben ausgewählt. An insgesamt 40 Proben erfolgte die Bestimmung der Rohdichte nach DIN 52 182. Die Rohdichte des Holzes betrug im Mittel

$$0,404 \pm 0,022 \text{ g/cm}^3$$

Die mittlere Jahrringbreite des Holzes wurde nach DIN 52 181 Teil 3 an 40 Proben bestimmt. Die mittlere Jahrringbreite betrug

$$2,77 \pm 0,74 \text{ mm}$$

Die Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zur Faser wurde nach DIN 52 185 durchgeführt. Dazu wurden prismatische Proben 4,0 x 4,0 x 6,0 cm³ hergestellt. Der Holzfeuchtigkeitsgehalt der Proben zum Zeitpunkt der Prüfung wurde zusätzlich bestimmt. Für das verwendete Holz ergibt sich eine mittlere Druckfestigkeit von

$$32,66 \pm 1,88 \text{ N/mm}^2$$

Die Einzelergebnisse der Holzuntersuchungen sind in Tabelle 1, Anlage 1, zusammengestellt.

2.1.2 Imprägnierung

Vor der Imprägnierung mit Salzlösungen wurden die Proben unter Dach im Freien auf Latten gestapelt und auf eine Feuchtigkeit unter 20 % getrocknet. Durch die vergleichsweise schonende Trocknung konnte die Entstehung von Trockenrissen weitgehend begrenzt werden.

2.1.2.1 Kesseldruckimprägnierung

60 Teilproben wurden in einer industriellen Anlage mit einem Chrom-Kupfer-Borsalzgemisch imprägniert. Dazu wurden die Proben nach Trocknung mit Abstandslatten paketierr. Nach Angaben des Imprägnierwerkes erfolgte die Imprägnierung mit einer 4prozentigen Lösung des Schutzmittels Impralit CKB, amtliches Prüfzeichen PA V - 640. Über die Imprägnierung wurde ein Tränkprotokoll erstellt. Weiterhin wurden die Schutzmittelaufnahme und der Druckverlauf während der Imprägnierung registriert. Aus diesen Daten errechnet sich für das imprägnierte Holz eine durchschnittliche Salzaufnahme von 8,2 kg/m³.

Nach der Imprägnierung wurde das Probenpaket in Kunststoffolie eingepackt und zur Fixierung vier Wochen bei Raumtemperatur gelagert. Anschließend wurden die Proben wieder im Freien unter Dach

zur Trocknung ausgelagert. Die endgültige Trocknung auf Holzfeuchtigkeiten $\sim 18 \%$ zur Herstellung der Probekörper erfolgte bei Raumklima.

Die 60 cm langen Probestücke wurden dann rechtwinklig zur Faser halbiert, um aus den jeweilig zusammengehörenden Hälften die Probekörper für den Zugversuch herzustellen. An den frischen Schnittflächen war die Verteilung des Schutzsalzes zu erkennen. Zusätzlich wurde die Salzverteilung durch Besprühen der Schnittfläche mit Eriochromcyanin-Reagenz sichtbar gemacht. In Abb. 1 (Anlage 2) ist die Schutzsalzverteilung in einzelnen Proben zeichnerisch dargestellt.

2.1.2.2 Tauchimprägnierung mit SF-Salz

Zur Imprägnierung der Holzproben wurde eine vierzehnprozentige Lösung von Basilit SF, Prüfzeichen PA V - 116, hergestellt.

60 Probehölzer wurden mit Abstandslatten in diese Lösung eingelegt und durch Beschweren mit Betonkörpern für 24 Stunden untergetaucht gehalten. Anschließend wurden die Hölzer der Imprägnierlösung entnommen, an Luft im Freien überdacht vorgetrocknet und bei Raumklima auf Holzfeuchten um 18% konditioniert. Anschließend wurden die Proben senkrecht zur Faser halbiert. An den frischen Schnittflächen wurde die Eindringtiefe des Schutzmittels mit Zirkon-Aliizarin-Reagenz nach DIN 52 161 Bl. 3 bestimmt. Die Schutzsalzverteilung in der Randzone der Holzproben ist in Abb. 2 (Anlage 3) zeichnerisch dargestellt.

2.1.3 Nagelplatten

2.1.3.1 Form und Abmessung

Für die Versuche wurden Nagelplatten aus dem Fachhandel bezogen. Die Platten tragen den Zulassungsbescheid Z 9.1-46 des Instituts für Bautechnik. Es handelt sich dabei um Platten aus feuerverzinktem Stahl von 1,25 mm Dicke. Aus diesen Platten sind einseitig 14,09 mm lange und 2,46 mm breite, an der Wurzel auf 3,70 mm verbreiterte Nägel ausgestanzt und senkrecht zur Blechebene aufgebogen. Die ungewöhnlichen Maße ergeben sich daraus, daß die Platten in England nach einem nicht metrischen Grundmaß gefertigt werden. Das System der Lochung ist in Abb. 3, Anlage 4, maßstäblich dargestellt.

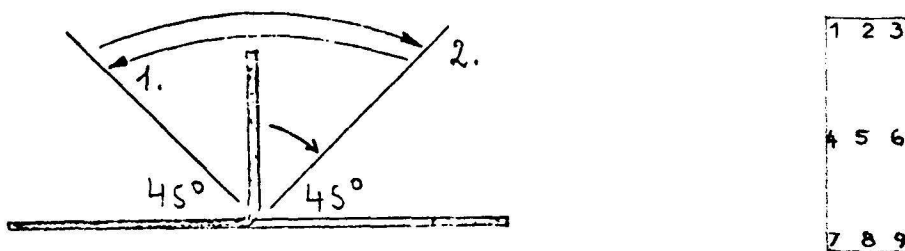
Von diesen Platten wurden zwei Größen bestellt, und zwar 100 x 215 mm² und 150 x 215 mm². Die Nagelplatten 100 x 215 mm² wurden wie angeliefert verwendet, wobei die Lochung parallel zur Holzfaser verlief ($\alpha = 0^\circ$). Die Platten 150 x 215 mm² wurden auf der längeren Seite genau halbiert. Für die Herstellung der Versuchskörper wurden damit Platten von 150 x 107,5 mm² verwendet, deren Lochung im Winkel von 90° zur Holzfaserrichtung verlief ($\alpha = 90^\circ$).

2.1.3.2 Zinkschichtdicke

Zur Beurteilung der Qualität der Feuerverzinkung wurden Flächengewicht und Schichtdicke der Zinkauflage nach DIN 50 988 bestimmt. Dazu wurden die Proben entfettet, getrocknet und gewogen. In einer Beizlösung aus Salzsäure und Antimonchlorid wurden die Zinkschichten abgelöst. Die dadurch eintretenden Gewichtsverluste wurden auf die Fläche und auf die Schichtdicke umgerechnet. Die beiden Plattensorten haben Flächenauflagen von 173 bzw. 178 g Zink/m². Das entspricht einer Zinkschichtdicke von 24 bzw. 25 µm. Die Einzelergebnisse der Zinkschichtdickenmessung sind in Tabelle 2, Anlage 5, zusammengestellt.

2.1.3.3 Biegeversuch

Zur Beurteilung der Stahleigenschaften wurden an den Nägeln Hin- und Her-Biegeversuche durchgeführt. Entsprechend den Grundlagen der Eignungsprüfung wurden die Biegeanzahlen bis zum Bruch ermittelt. Dazu wurden je Platte neun Probestellen ausgewählt. In diesen Bereichen wurde ein aufgebogener Nagel zunächst um 45° in Richtung der Ursprungsstellung zurückgebogen und dann jeweils um 90° bis zum Bruch hin- und hergebogen. Die Prüfung wurde nach folgendem Schema durchgeführt:



Für die untersuchten Bleche ergeben sich Biegezahlen von im Mittel 11,8. Die einzelnen Meßwerte sind in Tabelle 3, Anlage 6, zusammengestellt.

2.2 Herstellung der Probekörper

2.2.1 Form und Abmessung

Die vorbereiteten Proben mit den Abmessungen $20 \times 60 \text{ cm}^2$ wurden in jeweils zwei Teilproben $20 \times 30 \text{ cm}^2$ halbiert. Diese zusammengehörigen Teilstücke wurden durch Nagelplatten miteinander verbunden. Die Platten wurden auf einer hydraulischen Presse eingedrückt. Es wurden zwei verschiedene Plattenkörpertypen hergestellt, bei denen die Lochung der Nagelplatten parallel oder im Winkel von 90° ($\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 90^\circ$) zur Faserrichtung verlief. Art und Abmessung der beiden Probetypen sind an Abb. 4, Anlage 7, zeichnerisch dargestellt.

Im Einspannbereich der Prüfkörper wurden zusätzlich Nagelplatten 172 x 50 mm² eingedrückt. Dadurch sollte bei der Prüfung eine bessere Kraftverteilung im Einspannbereich erzielt werden. Ohne diese zusätzliche Maßnahme war mit Holzzerstörungen im Einspannbereich zu rechnen, wodurch eine Prüfung der Nagelplattenverbindung in der Probenmitte verfälscht worden wäre.

Insgesamt wurden 180 Probekörper hergestellt, die sich folgendermaßen aufgliederten:

30 Stück unbehandeltes Holz

Lochung der Nagelplatten parallel zur Faser ($\alpha = 0^\circ$)

30 Stück unbehandeltes Holz

Lochung der Nagelplatten 90° zur Faser ($\alpha = 90^\circ$)

30 Stück tauchimprägniert mit Magnesiumsilicofluorid

Lochung der Nagelplatten parallel zur Faser ($\alpha = 0^\circ$)

30 Stück tauchimprägniert mit Magnesiumsilicofluorid

Lochung der Nagelplatten 90° zur Faser ($\alpha = 90^\circ$)

30 Stück kesseldruckimprägniert mit Kupfer-Chrom-Borschuttsalz

Lochung der Nagelplatten parallel zur Faser ($\alpha = 0^\circ$)

30 Stück kesseldruckimprägniert mit Kupfer-Chrom-Borschuttsalz

Lochung der Nagelplatten 90° zur Faser ($\alpha = 90^\circ$)

2.2.2 Holzfeuchte

Die Verankerung der Nagelplatten im Holz und damit das Ergebnis entsprechender Zugversuche ist abhängig von Schwind- und Quellvorgängen des Holzes. Es kommt daher darauf an, daß bei der Herstellung der Probekörper und bei ihrer Prüfung innerhalb bestimmter Grenzen gleiche Feuchtigkeitsgehalte vorliegen.

Die Ermittlung der Holzfeuchtigkeit erfolgt zweckmäßigerweise mit einem elektrischen Holzfeuchtigkeitsmesser, vorausgesetzt, daß dieser zuverlässige Ergebnisse liefert. Wegen der Bedeutung der Feuchtigkeitsmessungen wurde für das vorliegende Untersuchungsprogramm zunächst eine Eichung des Holzfeuchtemessers durchgeführt. Dazu wurden Probehölzer aus dem Versuchsprogramm mit dem elektrischen Holzfeuchtemesser auf Feuchtigkeit untersucht. Die Proben wurden anschließend bei 105 °C bis zur Gewichtsbeständigkeit gedarrt. In Tabelle 4, Anlage 8, sind die elektrisch gemessenen Holzfeuchten den Darrwerten gegenübergestellt.

Im Mittel werden nach der Darrmethode an gleichartigen Holzproben Feuchtigkeitswerte von

$$15,15 \pm 0,63 \text{ M.-%}$$

gemessen. Die elektrisch gemessenen Holzfeuchtigkeiten betragen

$$14,71 \pm 0,29 \text{ M.-%}$$

Die zwischen beiden Meßverfahren auftretende Abweichung von größenordnungsmäßig 0,5 % kann für die Feuchtemessungen im vorliegenden Versuchsprogramm toleriert werden.

Beim Zusammenbau der Holzproben wurde an allen Teilstücken des Holzes eine elektrische Feuchtigkeitsmessung durchgeführt. Insgesamt wurden 360 Messungen vorgenommen. Die mittlere Holzfeuchtigkeit bei der Probenherstellung betrug

$$18,60 \pm 1,23 \text{ M.-%}$$

2.3 Lagerung der Probekörper

Die Probekörper wurden bis zur Prüfung im Freien unter Dach gelagert. Dazu diente eine Stahlbeton-Fertigarage, bei der das Garagentor durch eine Lattentür ersetzt war. Weiterhin waren die Wände der Garage für Betonuntersuchungen mit zylindrischen Bohrungen von 16 cm Durchmesser versehen. Dadurch herrschte im Lagerungsraum eine lebhafteste Luftzirkulation. Die Proben waren vor Regen geschützt, aber gelegentlicher Einwirkung von Flugschnee ausgesetzt.

Die Lagerung erfolgte mit ausreichenden Abständen, zunächst auf einer palettenartigen Unterlage mit 12 cm Abstand zum Betonboden der Garage. Zwischen den einzelnen Probekörpern wurden durch Dachlatten 4 x 6 cm³ Querschnitt hinreichende Abstände zur Durchlüftung geschaffen.

Die Proben lagerten für ein bzw. zwei Jahre. Für weitere Untersuchungen ist noch ein Drittel der Proben zur Prüfung nach fünfjähriger Lagerung vorgesehen.

3. Untersuchung der Probekörper

3.1 Prüfung der Zugfestigkeit der Nagelplattenverbindung

Nach ein- bzw. zweijähriger Lagerungsdauer der Probekörper erfolgte die Untersuchung auf Zugfestigkeit der Nagelplattenverbindung. Dazu wurde zuerst die Holzfeuchtigkeit für die Prüfung entsprechend den bei der Herstellung der Probekörper festgelegten Grenzwerten, 18 ± 2 M.-%, festgestellt. Die im Freien lagernden Proben hatten Holzfeuchten von 20 bis 22 %. Sie wurden durch Lagerung in Innenräumen auf die Prüffeuchte getrocknet.

Die mechanische Prüfung der Probekörper erfolgte in einer Zugprüfmaschine bei gleichmäßiger Belastungsgeschwindigkeit. Die Zugkraft wirkte parallel zur Holzfaserrichtung ($\beta = 0^\circ$). Die Verformungen wurden dabei registriert. Die Prüfung wurde bis zum Versagen der Holz-Nagelplatten-Verbindung durchgeführt.

Der Probetyp 1 war so ausgelegt, daß die aufnehmbare Belastung bei Zug der Nagelplattenverbindung etwa im Grenzbereich der Zugfestigkeit des Holzes lag. Entsprechend traten bei einigen Proben Holzbrüche vor Versagen der Nagelplattenverbindung auf. Bei diesen Proben war die Festigkeit der Nagelplattenverbindung höher als die Zugfestigkeit des Holzes. Solche Prüfwerte wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Beim Probetyp 2 war die aufnehmbare Belastung bei Zug der Verbindung nur etwa halb so groß wie bei Probetyp 1. Entsprechend trat bei der Prüfung kein Versagen des Holzes auf. Alle Prüfergebnisse konnten ausgewertet werden. Die Ergebnisse wurden zum besseren Vergleich auf 1 cm Schnittlänge umgerechnet. In den Tabellen 5 - 16, Anlagen 9 - 20, sind die Einzelergebnisse der Zugprüfungen angegeben. Eine Zusammenstellung der Mittelwerte der Zugversuche mit den Standardabweichungen ist in der folgenden Tabelle 17 angegeben.

Tabelle 17: Ergebnisse der Zugprüfungen (Mittelwerte)

	Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]			
	Prüfalter 1 Jahr		Prüfalter 2 Jahre	
	Probetyp 1 $\alpha=0^\circ \quad \beta=0^\circ$	Probetyp 2 $\alpha=90^\circ \quad \beta=0^\circ$	Probetyp 1 $\alpha=0^\circ \quad \beta=0^\circ$	Probetyp 2 $\alpha=90^\circ \quad \beta=0^\circ$
unbehandeltes Holz	3088 \pm 34	1407 \pm 33	3160 \pm 68	1404 \pm 42
tauch- imprägniert SF-Salz	3141 \pm 20	1427 \pm 26	3190 \pm 62	1424 \pm 42
kesseldruck- imprägniert CKB-Salz	3052 \pm 45	1428 \pm 32	3131 \pm 37	1446 \pm 17

3.2 Untersuchung der Nagelplatten nach Beendigung der Versuche

Nach Beendigung der Versuche wurden aus den Proben, die zwei Jahre gelagert hatten, Nagelplatten durch vorsichtiges Zerspanen des Holzes in Faserrichtung ausgebaut. An diesen Platten wurden weitere Versuche durchgeführt und mit Eigenschaften der Platten im Anlieferungszustand verglichen.

3.2.1 Zinkschichtdicke

An Teilproben der Nagelplatten erfolgte erneut die Bestimmung des Flächengewichtes der Verzinkung und der Zinkschichtdicke nach DIN 50 988, nachdem diese Platten in den Probekörpern zwei Jahre in Kontakt mit dem imprägnierten Holz im Freien unter Dach gelagert hatten. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 18, Anlage 21, zusammengestellt. In der folgenden Tabelle 19 ist ein Vergleich der Flächengewichte und der Zinkschichtdicke zwischen unbehandelten Platten und Platten aus den Versuchen angegeben.

Tabelle 19: Flächengewicht der Verzinkung und Zinkschichtdicken
Vergleich aus Tabelle 2 Anlage 4
und Tabelle 18 Anlage 21

	Flächengewicht der Verzinkung g/m ²	Zinkschichtdicke µm
Nagelplatten im Anlieferungszustand	175	24,4
Ausgebaute Nagel- platten nach zwei- jährigem Kontakt		
mit CKB-Salz	172	24,0
mit SF-Salz	178	24,7

3.2.2 Biegeversuch

An den ausgebauten Nagelplatten wurde der Hin- und Her-Biegeversuch wie unter Abschnitt 2.1.3.3 nach zweijähriger Lagerung in Kontakt mit imprägniertem Holz wiederholt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 20, Anlage 22, angegeben.

In der folgenden Tabelle 21 sind die Mittelwerte mit den Standardabweichungen der Biegezahlen an Nagelplatten im Anlieferungszustand und an ausgebauten Nagelplatten nach zweijährigem Kontakt mit imprägniertem Holz gegenübergestellt.

Tabelle 21: Biegezahlen

Vergleich aus Tabelle 3 Anlage 6
und Tabelle 20 Anlage 22

	Biegezahl
Nagelplatten im Anlieferungszustand	11,8 ± 1,32
Ausgebaute Nagelplatten nach zweijährigem Kontakt mit CKB-Salz	12,6 ± 1,72
mit SF-Salz	14,1 ± 2,55

4. Ergebnisse

Die durchgeführten Versuche wurden in Übereinstimmung mit den Anforderungen durchgeführt, die zur Erteilung einer allgemein bauaufsichtlichen Zulassung für Nagelplatten vorgeschrieben sind. Dabei wurden zwei verschiedene Nagelplattenstöße auf aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug geprüft. Ebenso wurden die Versuchsmaterialien, Holz und Nagelplatten, in ihren Eigenschaften entsprechend den Anforderungen der Zulassungsprüfung untersucht. Zusätzlich wurden die Untersuchungen mit imprägnierten Hölzern vorgenommen. In diesem Forschungsvorhaben war eine zweijährige Lagerungsdauer zur Beurteilung des Alterungsverhaltens vorgesehen.

4.1 Zugfestigkeit der Nagelplattenverbindung

Nach den Ergebnissen der Untersuchungen wird die aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug durch zweijährigen Kontakt mit imprägniertem Holz bei Lagerung im Freien unter Dach nicht technisch bedeutsam beeinflußt. Alle Prüfwerte zeigen im Vergleich zu unbehandelten Hölzern gleicher Art und Lagerung Abweichungen in der aufnehmbaren Belastung bei Zug, die in der Größenordnung der Standardabweichung liegen. In Einzelfällen waren die gemessenen Belastungsgrößen bei imprägnierten Holzproben sogar geringfügig höher als bei nichtimprägniertem Holz.

4.2 Eigenschaften der Nagelplatten

4.2.1 Zinkschichtdicke nach Versuchsabschluß

Die nachträglich ermittelten Zinkschichtdicken an Nagelplatten nach zweijährigem Kontakt mit imprägniertem Holz weichen nur innerhalb eines sehr engen Streubereiches von der Zinkschichtdicke der Platten im Anlieferungszustand ab. Bei der nachträglichen Prüfung ausgebauter Nagelplatten wird vor Ermittlung der Zinkauflage eine Entfettung und Reinigung durchgeführt. Etwaige Korrosionsprodukte in nennenswerter Menge werden dabei vor Versuchsdurchführung entfernt. Eine abtragende Korrosionswirkung wäre durch die Untersuchungen sicher erkannt worden.

4.2.2 Biegeversuch nach Versuchsabschluß

Die an den Nagelplatten nach Beendigung der Versuche ermittelten Biegezahlen liegen geringfügig höher als die Biegezahlen der Platten im Anlieferungszustand. Auch die Standardabweichung dieser Werte ist erhöht. Dabei hat die mechanische Beanspruchung der Nagelplatten beim Eindrücken in das Holz und bei Prüfung der Zug-

festigkeit der Verbindung mitgewirkt. Bei den ausgebauten Platten liegen teilweise geringfügige Deformationen vor, wodurch die Biegung etwas außerhalb der Plattenebene erfolgt. Eine höhere Biegezahl ist dann erklärlich. Inwieweit auch die Stahleigenschaften durch Stauchen und Recken im Versuchsverlauf gering verändert wurden, bleibt offen. Die erhöhten Biegezahlen nach Versuchsabschluß machen aber deutlich, daß keine Versprödung des Stahls oder wesentliche Eigenschaftsveränderung im Bereich der Nagelwurzel aufgetreten sind. Gerade dieser Bereich, in dem die Biegeprüfung erfolgt, ist für Korrosion anfällig, da die Seitenflächen der Nägel, bedingt durch den Herstellungsvorgang, keinen Korrosionsschutz durch Verzinkung aufweisen. Für den Zulassungsfall sind Biegezahlen von ≥ 6 vorgeschrieben. Die hier vorgefundenen Werte, auch nach zweijähriger Einwirkung salzimprägnierter Hölzer, überschreiten diese Anforderungen ganz wesentlich.

Die durchgeführten Untersuchungen ergeben keine Hinweise, daß bei bestimmungsgemäßer Anwendung verzinkter Nagelplatten entsprechend ihrem Zulassungsbescheid nach zweijähriger Lagerung

- festigkeitsmindernde Einwirkung auf die Holz-Nagelplatten-Verbindung,
- abtragende Korrosionswirkung auf die Verzinkung,
- versprödender Einfluß auf den Stahl

durch Holzschutzmittel der hier untersuchten Art verursacht werden.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Anonym, Corrosion of Fasteners in Treated Wood
6th Scandinavian Corrosion Congress, Gothenburg (1971)
- [2] Anonym, Standard Method of Conducting Controlled Velocity
Laboratory Corrosion Tests
American Wood Preservers Association Standard M14-72 (1972)
- [3] Bartel-Kornacka, E.T., Corrosion of Iron by Ghana Timbers
Wood, 32, 39 (1967)
- [4] Farmer, R.H., Corrosion of Metals in Association with Wood,
Part 1: Corrosion by Acidic Vapours from Wood
Wood, 27, 326 (1962)
- [5] Farmer, R.H., Corrosion of Metals in Association with Wood,
Part 2: Corrosion of Metals in Contact with Wood
Wood, 443 (1962)
- [6] Farmer, R.H., Porter, F.C., Corrosion of Metals in Association
with Wood, Wood 28, 505 (1963)
- [7] Langendorf, G., Korrosion von Stahl durch Holzschutzmittel
Holztechnologie 1, 123 (1960)
- [8] Ormstad, Egil, Corrosion of Metals in Contact with Treated
Wood, Norsk Traeteknisk Institut Meddelelse Nr. 47 (1973)
- [9] Schulze, B., Korrosionsprozesse handelsüblicher wasserlös-
licher Holzschutzmittel gegenüber verschiedenen Nichteisen-
metallen und Stahl
Holz als Roh- und Werkstoff, 23, 313 (1965)
- [10] Schulze, B., Richly, W., Korrosionsprüfung von Nichteisen-
metallen und Stahl im Wechselklima bei Dauerkontakt mit Holz
Holz als Roh- und Werkstoff, 23, 354 (1965)
- [11] Smith, R.S., Johnson, E.L., Cserjest, A.J.
Corrosion of Zinc-Coated Nails with Preservative-Treated
Western Red Cedar-Shakes in Service
International Research Group on Wood Preservation,
Document No. IRG/WP/3197 (1982)

Tabelle 1: Bestimmung der Holzeigenschaften

lfd. Nr.	Rohdichte 20/65 [g/cm ³]	mittlere Jahrring- breite [mm]	Feuchtigkeit am Prüftag [M.-%]	Druckfestigkeit [N/mm ²]
1	0,368	3,38	14,5	31,5
2	0,367	3,31	14,6	30,5
3	0,437	2,71	15,2	34,0
4	0,409	2,50	14,8	32,5
5	0,446	1,60	15,3	35,5
6	0,411	1,66	14,7	35,0
7	0,417	3,29	14,7	32,0
8	0,416	4,27	15,2	31,0
9	0,421	4,18	14,3	29,5
10	0,402	4,73	14,3	29,0
11	0,392	2,57	14,3	33,0
12	0,413	2,45	14,9	34,5
13	0,411	1,62	14,8	35,5
14	0,452	1,67	15,3	35,5
15	0,376	3,75	14,6	28,5
16	0,361	3,73	14,6	29,0
17	0,417	2,61	14,5	33,5
18	0,383	3,29	14,2	32,0
19	0,412	3,06	14,9	33,5
20	0,414	2,35	14,5	34,5
21	0,398	2,95	14,6	33,0
22	0,436	2,04	14,3	33,5
23	0,407	2,50	14,9	34,0
24	0,407	2,65	15,2	32,5
25	0,392	2,20	14,6	33,0
26	0,390	2,29	14,7	33,5
27	0,401	2,07	15,0	34,5
28	0,409	2,15	14,8	34,0
29	0,374	3,24	14,8	31,0
30	0,423	2,36	14,4	32,0

Anlage 1.1

Fortsetzung Tabelle 1

lfd. Nr.	Rohdichte 20/65 [g/cm ³]	mittlere Jahrring- breite [mm]	Feuchtigkeit am Prüftag [M.-%]	Druckfestigkeit [N/mm ²]
31	0,401	2,62	14,5	34,0
32	0,393	3,18	14,8	33,0
33	0,385	2,89	14,4	31,5
34	0,381	2,95	14,5	32,5
35	0,392	2,75	14,6	33,0
36	0,381	3,44	14,4	30,0
37	0,399	2,80	14,8	32,0
38	0,390	3,13	15,0	30,5
39	0,438	2,00	15,0	34,0
40	0,422	1,98	14,7	35,0
Mittelwert \bar{x}	0,404	2,77		32,66
Anzahl der Meßwerte n	40	40		40
Standardab- weichung s	0,022	0,74		1,88
Variations- koeffizient %	5,4	26,7		5,8

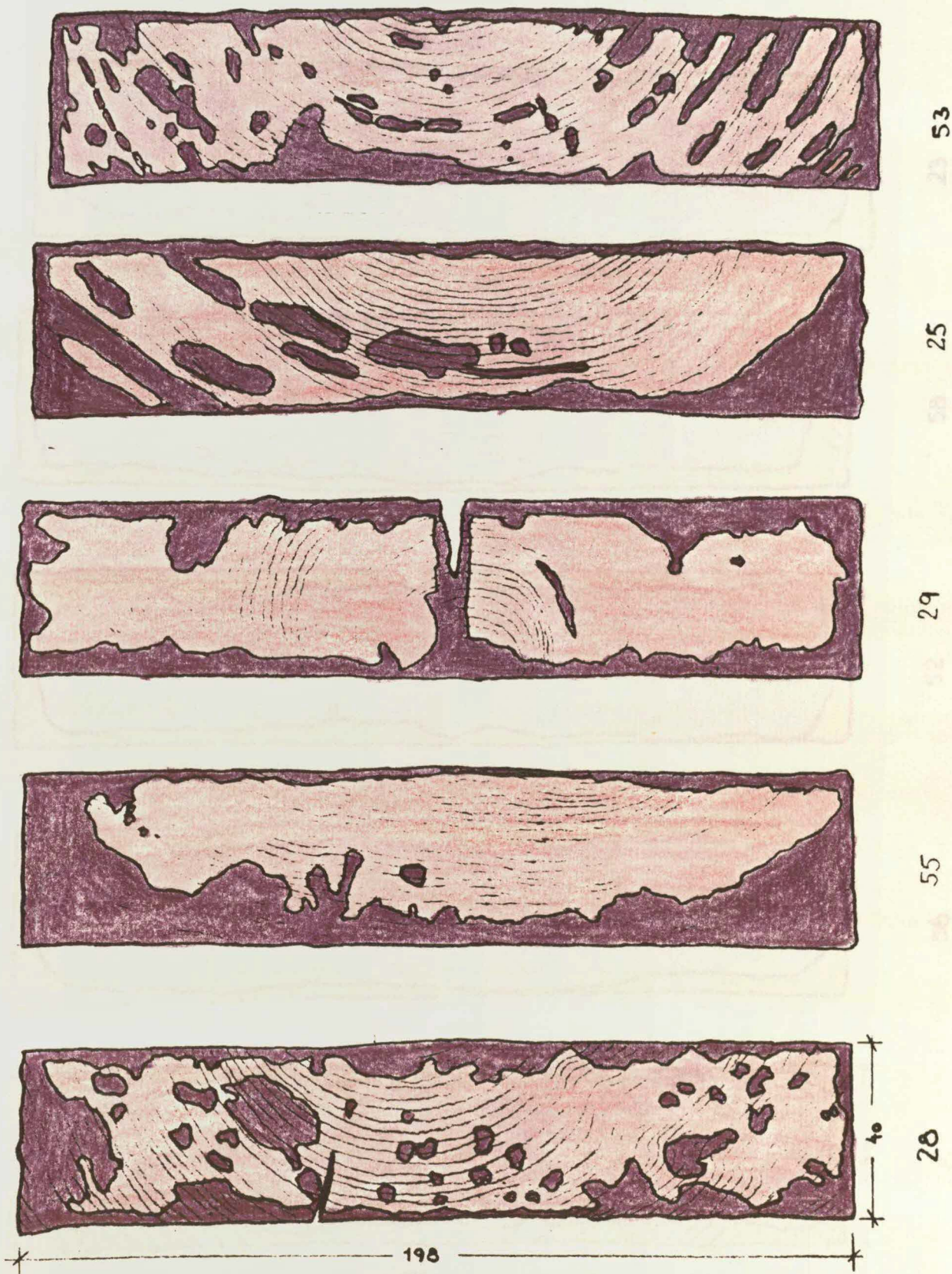


Abb. 1: Verteilung von CKB-Salz
in kesseldruckimprägnierten Proben
■ imprägnierter Bereich

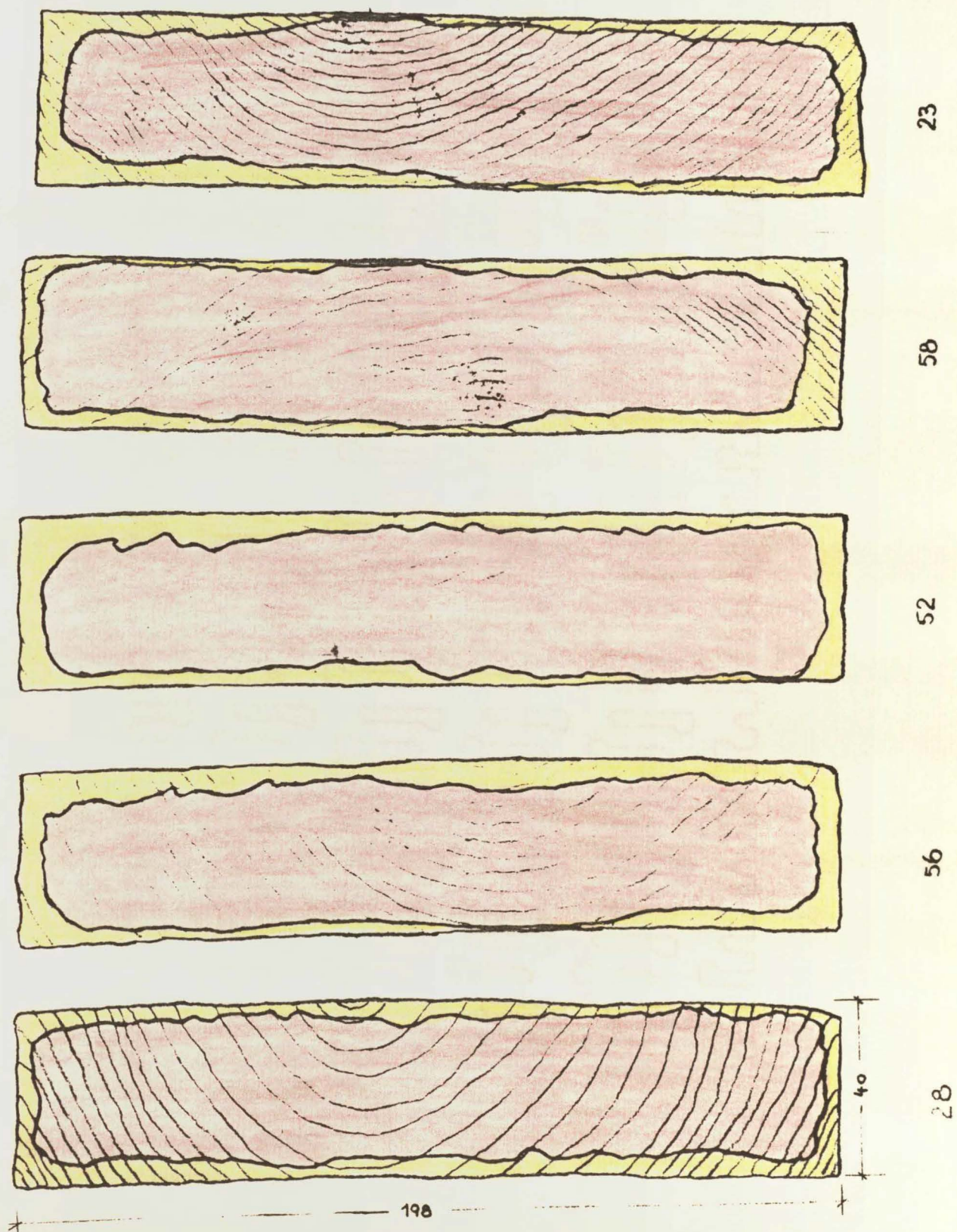


Abb. 2: Verteilung von SF-Salz
in tauchimprägnierten Proben
■ imprägnierter Bereich

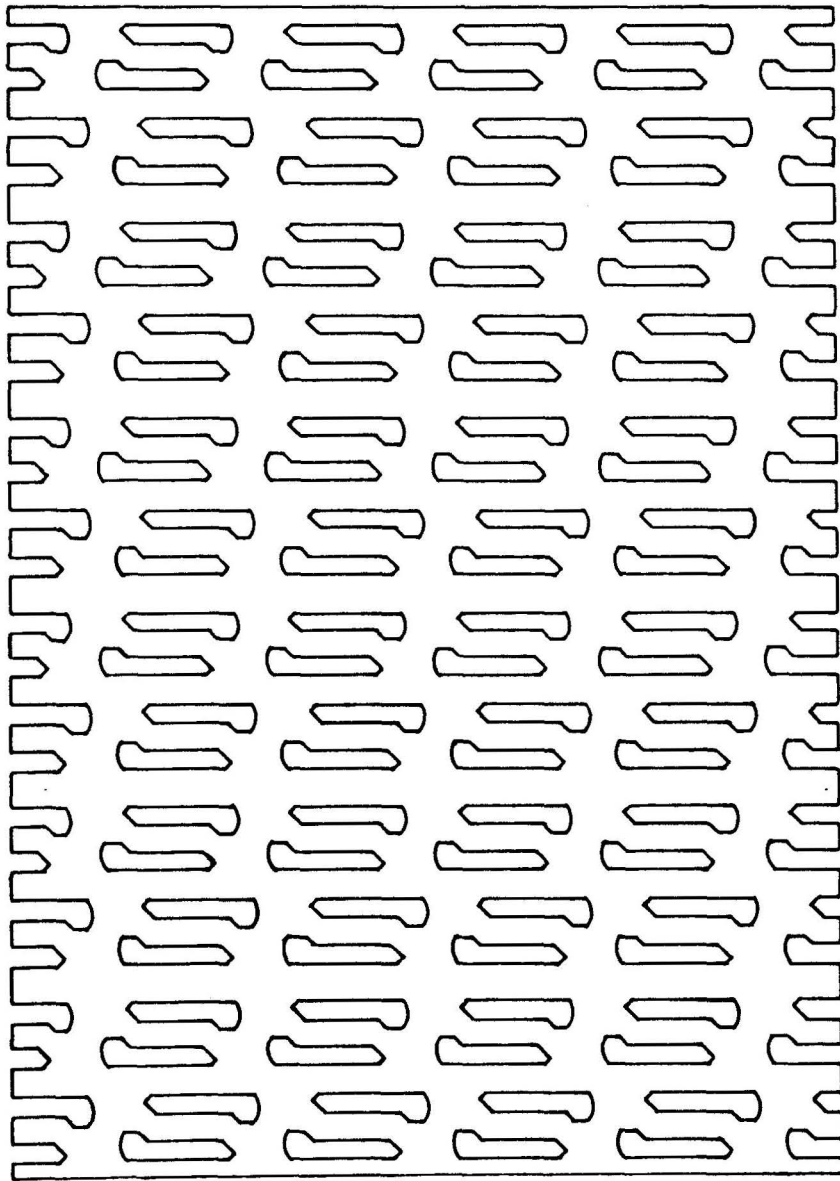


Abb. 3: Nagelplatten
Lochsystem

Anlage 5

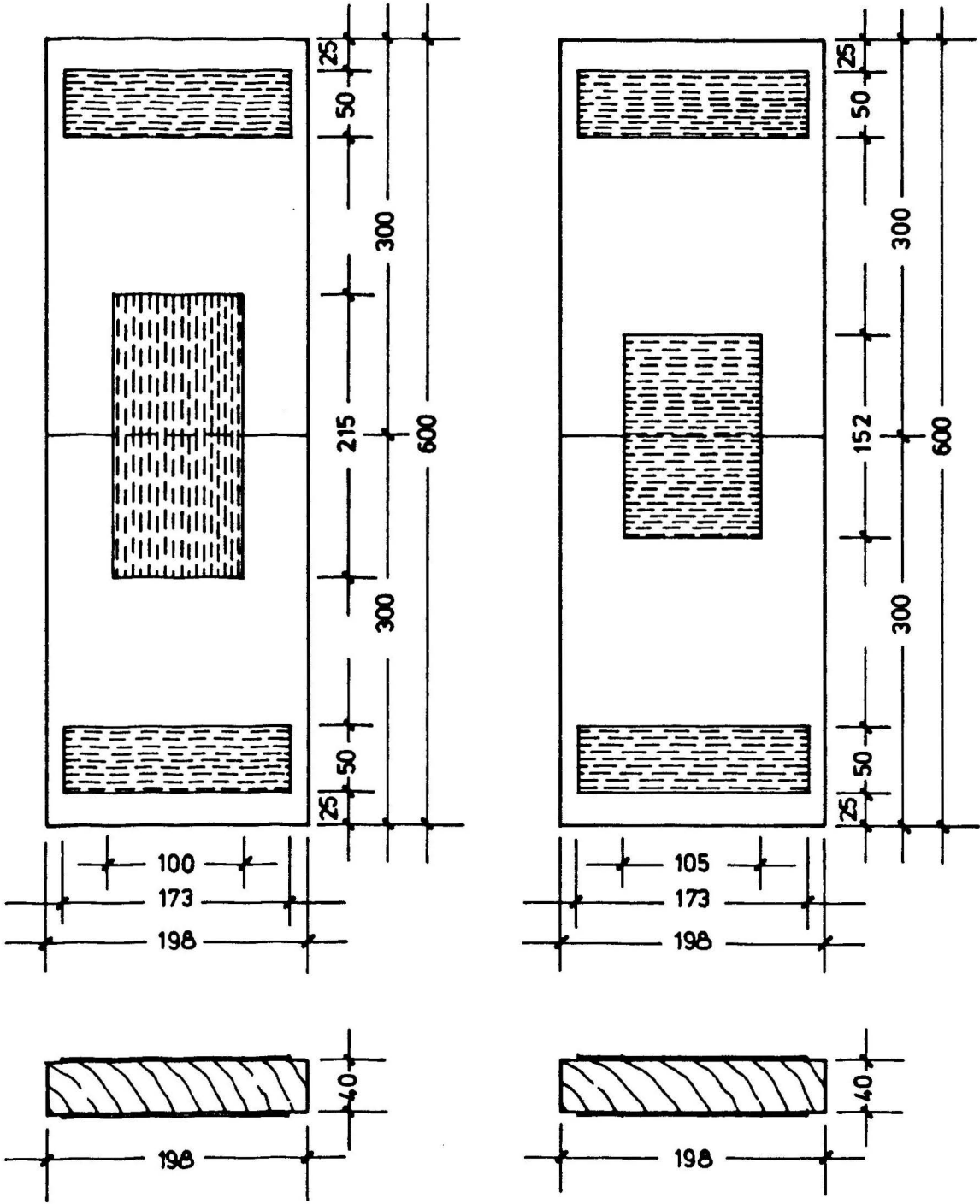
Tabelle 2: Bestimmung des Flächengewichts der Verzinkung und der Zinkschichtdicke nach DIN 50 988

Abmessungen der Probe	lfd. Nr.	Flächengewicht Zink g/m ²	Zinkschichtdicke µm
15 x 21,5 cm ²	1	174,02	24,17
	2	174,86	24,29
	3	173,51	24,10
	4	172,07	23,90
	5	171,35	23,80
	6	173,25	24,06
Mittelwert	\bar{x}	173,18	24,05
Anzahl der Meßwerte	n	6	6
Standardabweichung	s	1,28	0,18
Variationskoeffizient	%	0,74	0,74
10 x 21,5 cm ²	1	177,03	24,59
	2	177,86	24,70
	3	177,59	24,67
	4	176,22	24,47
	5	180,37	25,05
	6	176,94	24,58
Mittelwert	\bar{x}	177,67	24,68
Anzahl der Meßwerte	n	6	6
Standardabweichung	s	1,44	0,20
Variationskoeffizient	%	0,81	0,81

Anlage 6

Tabelle 3: Biegezahlen der Nagelplatten

Probe Nr.	Biegezahlen									Mittelwert
1	12	10	12	14	12	12	9	11	10	11,3
2	10	11	11	12	11	11	12	11	13	11,3
3	12	14	12	12	12	13	11	10	13	12,1
4	12	11	13	10	13	13	12	11	12	11,9
5	10	11	12	13	11	13	11	15	15	12,3
Mittelwert \bar{x}										11,8
Anzahl der Meßwerte n										45
Standardabweichung s										1,32
Variationskoeffizient %										11,23



Probetyp 1

Probetyp 2

Abb. 4

Anlage 8

Tabelle 4: Vergleich elektrische Holzfeuchtemessung - Darren

Probe Nr.	elektrisch gemessene Holzfeuchte	Darr- feuchte	Probe Nr.	elektrisch gemessene Holzfeuchte	Darr- feuchte
1	14,8	14,5	21	15,5	14,6
2	15,0	14,6	22	15,3	14,3
3	15,9	15,2	23	15,7	14,9
4	15,2	14,8	24	15,6	15,2
5	15,3	15,3	25	14,4	14,6
6	15,3	14,7	26	15,1	14,7
7	15,4	14,7	27	16,0	15,0
8	15,2	15,2	28	15,4	14,8
9	14,2	14,3	29	15,7	14,8
10	15,1	14,3	30	14,6	14,4
11	14,1	14,3	31	16,2	14,5
12	14,2	14,9	32	16,0	14,8
13	14,8	14,8	33	15,0	14,4
14	14,9	15,3	34	15,1	14,5
15	14,0	14,6	35	14,8	14,6
16	15,1	14,6	36	15,7	14,4
17	15,3	14,5	37	14,4	14,8
18	14,0	14,2	38	15,4	15,0
19	14,3	14,9	39	15,8	15,0
20	16,3	14,5	40	16,0	14,7
Mittelwert \bar{x}				14,71	15,15
Anzahl der Meßwerte n				40	40
Standardabweichung s				0,29	0,63
Variationskoeffizient %				1,99	4,13

Tabelle 5: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]
unbehandeltes Holz
Probetyp 1, $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$, Prüfalter 1 Jahr

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]		Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]		Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]
1	18,3	18,2	19,0	18,4	Holzbruch	62,0	3100,0
2	18,0	17,8	18,5	19,0		58,5	2925,0 *
3	17,9	18,6	19,5	19,6		61,0	3050,0
4	18,5	19,1	19,6	19,3		61,4	3070,0
5	18,4	18,3	19,0	18,4		61,6	3080,0
6	18,4	18,5	19,8	20,0		61,6	3080,0
7	18,3	18,6	19,6	19,9	Holzbruch	60,2	3010,0 *
8	18,8	18,3	19,6	20,0	Holzbruch	53,0	2650,0 *
9	19,0	18,5	19,6	19,5	Holzbruch, Auszug	63,0	3150,0
10	18,7	19,4	19,8	19,2		59,0	2950,0 *
Mittelwert \bar{x}			19,37				3088,33
Anzahl der Meßwerte n			20				6
Standardabweichung s			0,50				34,30
Variationskoeffizient %			2,60				1,11

* von Mittelwertbildung ausgeschlossen

Tabelle 6: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]
unbehandeltes Holz
Probetyp 1, $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$, Prüfalter 2 Jahre

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]		Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]		Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Platten- belastung bei Zug [N/cm]
21	19,5	19,8	18,8	18,4	Holzbruch	57,2 *	2860,0
22	18,7	19,5	19,0	19,3		62,8	3140,0
23	19,0	18,3	18,5	19,1		64,2	3210,0
24	19,2	19,7	18,8	18,4	Holzbruch	48,0 *	2400,0
25	19,3	19,2	19,3	18,9		61,4	3070,0
26	18,5	18,0	19,7	19,8	Blech einseitig gerissen	64,0	3200,0
27	19,0	18,8	20,0	19,3		64,8	3240,0
28	20,2	19,5	20,1	19,4	Holzbruch	52,8 *	2640,0
29	20,4	20,6	19,8	19,3	Blech einseitig gerissen	63,8	3190,0
30	19,2	17,8	19,6	19,5		61,4	3070,0
Mittelwert \bar{x}			19,25				3160,0
Anzahl der Meßwerte n			20				7
Standardabweichung s			0,51				68,31
Variationskoeffizient %			2,65				2,16

* von Mittelwertbildung ausgeschlossen

Tabelle 7: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]
unbehandeltes Holz
Probetyp 2, $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 0^\circ$, Prüfalter 1 Jahr

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]		Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]		Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Platten- belastung bei Zug [N/cm]
31	19,8	19,4	19,2	19,4		29,0	1348,8
32	20,1	19,7	19,4	19,2		30,0	1395,4
33	19,3	19,6	19,4	19,6		29,4	1367,4
34	18,0	19,0	19,3	19,5		30,3	1409,3
35	17,9	18,7	19,3	19,6		30,8	1432,6
36	18,8	19,1	19,8	19,8		31,0	1441,9
37	18,7	19,0	19,6	19,3		31,2	1451,2
38	19,4	19,5	19,8	19,5		30,2	1404,7
39	18,6	18,4	19,2	19,5		29,8	1386,05
40	19,3	19,3	20,0	19,8		30,8	1432,6
Mittelwert \bar{x}			19,51				1406,98
Anzahl der Meßwerte n			20				10
Standardabweichung s			0,24				33,34
Variationskoeffizient %			1,21				2,37

Tabelle 8: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]

unbehandeltes Holz

Probetyp 2, $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 0^\circ$, Prüfalter 2 Jahre

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]		Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]		Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Platten- belastung bei Zug [N/cm]
51	19,2	17,8	19,6	19,7		29,6	1376,7
52	19,3	18,9	19,2	18,9		31,2	1451,2
53	20,2	19,6	19,6	19,0		30,3	1409,3
54	20,1	19,7	19,3	19,6		31,0	1441,9
55	20,2	20,3	19,4	19,4		30,2	1404,7
56	19,8	20,2	19,0	19,3		30,7	1427,9
57	19,8	20,1	18,4	19,0		30,4	1413,9
58	19,5	19,8	19,1	18,6		30,0	1395,4
59	19,7	19,3	18,7	18,9		30,4	1413,9
60	19,8	19,5	19,1	19,5		28,0	1302,3
Mittelwert \bar{x}			19,17				1403,72
Anzahl der Meßwerte n			20				10
Standardabweichung s			0,36				41,65
Variationskoeffizient %			1,88				2,97

Tabelle 9: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]
 Tauchimprägnierung mit Magnesiumsilicofluorid
 Probetyp 1, $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$, Prüfalter 1 Jahr

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]	Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]	Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Platten- belastung bei Zug [N/cm]
1 SF	17,0 17,2	19,0 18,8		63,0	3150,0
2 SF	17,1 16,8	19,0 19,8	Holzbruch	51,4 *	2570,0
3 SF	18,0 17,5	18,9 18,9		63,1	3155,0
4 SF	16,3 16,6	17,1 17,3	Blech ausgezogen	59,2 *	2960,0
5 SF	19,0 17,8	19,8 19,8	Holzbruch	57,7 *	2885,0
6 SF	18,8 19,3	20,2 20,0		62,7	3135,0
7 SF	19,4 19,7	19,8 19,4	Blech einseitig gerissen	63,3	3165,0
8 SF	19,0 18,3	19,9 20,1		62,6	3130,0
9 SF	18,8 18,2	19,6 19,9		63,0	3150,0
10 SF	18,8 22,0	20,4 19,7	Blech einseitig gerissen	62,1	3105,0
Mittelwert \bar{x}		19,37			3141,43
Anzahl der Meßwerte n		20			7
Standardabweichung s		0,88			19,94
Variationskoeffizient %		4,53			0,63

* von Mittelwertbildung ausgeschlossen

Tabelle 10: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]

Tauchimprägnierung mit Magnesiumsilicofluorid
 Probetyp 1, $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$, Prüfalter 2 Jahre

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]		Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]		Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Platten- belastung bei Zug [N/cm]
21 SF	19,6	19,3	18,6	19,0		63,8	3190,0
22 SF	20,3	18,9	19,2	18,9		63,9	3195,0
23 SF	20,5	19,3	18,4	19,1		64,4	3220,0
24 SF	20,0	19,1	19,2	19,4	Blech einseitig gerissen	62,6	3130,0
25 SF	19,3	18,9	17,8	19,0	Blech einseitig gerissen	64,0	3200,0
26 SF	20,1	19,8	18,1	19,6	Blech einseitig gerissen	63,2	3160,0
27 SF	20,0	19,4	17,7	18,1		64,0	3200,0
28 SF	20,1	19,6	17,6	17,8		63,1	3155,0
29 SF	19,3	18,9	18,7	19,0		61,4	3070,0
30 SF	18,3	18,8	19,2	18,3	Blech einseitig gerissen	60,6	3030,0
Mittelwert \bar{x}			18,64				3155,0
Anzahl der Meßwerte n			20				10
Standardabweichung s			0,62				62,0
Variationskoeffizient %			3,31				1,97

Tabelle 11: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]

Tauchimprägnierung mit Magnesiumsilicofluorid
 Probetyp 2, $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 0^\circ$, Prüfalter 1 Jahr

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]	Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]	Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Platten- belastung bei Zug [N/cm]
31 SF	20,0 19,1	20,6 20,4		31,0	1441,9
32 SF	21,2 19,8	20,1 20,4		30,8	1432,6
33 SF	19,5 19,8	20,2 20,4		31,5	1465,1
34 SF	19,3 18,5	20,1 19,8		30,9	1437,2
35 SF	19,6 20,0	19,8 19,5		31,2	1451,2
36 SF	19,6 19,8	20,2 20,3		30,4	1413,9
37 SF	19,8 19,7	20,3 19,9		29,8	1386,1
38 SF	20,1 20,0	19,9 20,1		29,8	1386,1
39 SF	19,0 20,1	20,2 20,3		30,9	1437,2
40 SF	18,2 18,3	19,3 18,7		30,5	1418,6
Mittelwert \bar{x}		20,03			1426,98
Anzahl der Meßwerte n		20			10
Standardabweichung s		0,45			26,02
Variationskoeffizient %		2,23			1,82

Tabelle 12: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]

Tauchimprägnierung mit Magnesiumsilicofluorid
 Probetyp 2, $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 0^\circ$, Prüfalter 2 Jahre

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]		Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]		Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Platten- belastung bei Zug [N/cm]
51 SF	19,0	19,5	17,6	17,3		30,5	1418,6
52 SF	19,0	18,8	18,5	17,3		31,4	1460,5
53 SF	17,5	18,0	17,8	17,4		31,2	1451,2
54 SF	18,6	18,9	17,7	17,9		31,3	1455,8
55 SF	18,5	18,0	18,0	19,0		29,1	1353,5
56 SF	19,1	18,8	19,8	19,3		29,0	1348,8
57 SF	16,5	16,3	17,6	17,6		31,6	1469,8
58 SF	16,4	16,6	18,8	17,8		30,3	1409,3
59 SF	16,3	16,5	17,3	17,6		30,8	1432,6
60 SF	16,3	16,3	19,0	19,0		31,0	1441,9
Mittelwert \bar{x}			18,12				1424,19
Anzahl der Meßwerte n			20				10
Standardabweichung s			0,77				42,73
Variationskoeffizient %			4,24				3,00

Tabelle 13: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]
Kesseldruckimprägnierung mit Chrom-Kupfer-Borsalz
Probetyp 1, $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$, Prüfalter 1 Jahr

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]		Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]		Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Platten- belastung bei Zug [N/cm]
1 CKB	16,3	16,5	17,5	17,2	Holzbruch	66,7	3035,0
2 CKB	17,7	17,6	18,3	17,7		60,8	3040,0
3 CKB	18,0	18,8	19,1	17,5		59,9	2995,0
4 CKB	19,6	18,4	18,2	18,8		60,5	3025,0
5 CKB	17,4	16,6	18,0	17,3		58,3 *	2915,0
6 CKB	18,1	19,1	19,0	19,0		60,3	3015,0
7 CKB	19,1	20,1	20,2	19,9		61,0	3050,0
8 CKB	16,8	16,7	18,3	17,0		61,2	3060,0
9 CKB	19,5	20,1	17,2	18,0		62,5	3125,0
10 CKB	19,3	19,9	19,3	19,2		62,5	3125,0
Mittelwert \bar{x}		18,34				3052,22	
Anzahl der Meßwerte n		20				9	
Standardabweichung s		0,94				45,42	
Variationskoeffizient %		5,12				1,49	

* von Mittelwertbildung ausgeschlossen

Tabelle 14: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]

Kesseldruckimprägnierung mit Chrom-Kupfer-Borsalz
 Probetyp 1, $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$, Prüfalter 2 Jahre

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]		Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]		Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Platten- belastung bei Zug [N/cm]
21 CKB	20,2	19,2	19,5	19,0	Holzbruch	58,6 *	2930,0
22 CKB	17,6	16,7	19,2	19,9		62,8	3140,0
23 CKB	17,8	16,9	19,0	19,6		62,0	3100,0
24 CKB	16,3	17,3	19,8	19,4		62,9	3145,0
25 CKB	17,3	17,0	19,7	19,2		61,8	3090,0
26 CKB	16,6	18,2	19,0	18,6		62,5	3125,0
27 CKB	16,5	16,5	18,8	18,5		62,4	3120,0
28 CKB	16,3	16,4	19,3	18,7		63,8	3190,0
29 CKB	16,4	17,8	18,9	19,4		63,6	3180,0
30 CKB	16,8	16,7	19,2	18,5		61,7	3085,0
Mittelwert \bar{x}		19,16					3130,56
Anzahl der Meßwerte n		20					9
Standardabweichung s		0,42					37,20
Variationskoeffizient %		2,20					1,19

* von Mittelwertbildung ausgeschlossen

Tabelle 15: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]

Kesseldruckimprägnierung mit Chrom-Kupfer-Borsalz
 Probetyp 2, $\alpha = 90^\circ\text{C}$, $\beta = 90^\circ\text{C}$, Prüfalter 1 Jahr

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]		Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]		Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Platten- belastung bei Zug [N/cm]
31 CKB	17,1	18,2	20,1	19,4		30,0	1395,4
32 CKB	18,5	19,5	19,3	19,5		31,1	1446,5
33 CKB	16,4	17,0	20,0	18,9		31,4	1460,5
34 CKB	17,1	16,5	19,2	19,4		30,7	1427,9
35 CKB	18,7	19,5	19,1	19,3		31,3	1455,8
36 CKB	18,4	17,6	19,9	20,3		29,5	1372,0
37 CKB	20,0	19,6	19,7	20,1		30,3	1409,3
38 CKB	18,0	19,2	19,6	19,4		31,0	1441,9
39 CKB	18,6	19,0	18,9	19,4		31,6	1469,8
40 CKB	18,8	19,8	20,0	19,6		30,1	1400,0
Mittelwert \bar{x}		19,56					1427,91
Anzahl der Meßwerte n		20					10
Standardabweichung s		0,40					32,37
Variationskoeffizient %		2,07					2,27

Tabelle 16: Aufnehmbare Plattenbelastung bei Zug [N/cm]

Kesseldruckimprägnierung mit Chrom-Kupfer-Borsalz
 Probetyp 2, $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$, Prüfalter 2 Jahre

Probe Nr.	Holzfeuchte bei Probenherstellung [M.-%]		Holzfeuchte bei Prüfung [M.-%]		Anmerkungen zur Prüfung	Höchstlast \bar{t}_{\max} [kN]	Aufnehmbare Platten- belastung bei Zug [N/cm]
51 CKB	17,6	18,6	18,6	19,1		30,4	1413,9
52 CKB	16,5	17,2	19,0	18,5		30,8	1432,6
53 CKB	15,8	16,1	19,6	19,3		31,4	1460,5
54 CKB	16,3	17,0	19,0	19,3		31,7	1474,4
55 CKB	16,5	17,3	19,4	19,7		31,2	1451,2
56 CKB	19,8	19,2	19,7	20,0		30,9	1437,2
57 CKB	17,2	18,3	18,9	19,2		31,4	1460,5
58 CKB	17,6	17,4	19,9	19,3		31,0	1441,9
59 CKB	16,5	16,8	19,8	19,3		31,0	1441,9
60 CKB	17,2	17,0	19,9	19,8		31,0	1441,9
Mittelwert \bar{x}			19,37				1445,58
Anzahl der Meßwerte n			20				10
Standardabweichung s			0,43				16,96
Variationskoeffizient %			2,24				1,17

Anlage 21

Tabelle 18: Bestimmung des Flächengewichtes der Verzinkung und der Zinkschichtdicke nach DIN 50 988 nach Kontakt der Nagelplatten mit imprägniertem Holz

CKB-Salz Probe Nr.	Probengröße cm ²	Flächengewicht Zink g/m ²	Zinkschichtdicke µm
25 CKB	17,27 x 5,09	170,67	23,70
28 CKB		173,02	24,03
29 CKB		170,70	23,71
53 CKB		173,19	24,06
55 CKB		173,56	24,11
	Mittel	172,23	23,92

SF-Salz Probe Nr.	Probengröße cm ²	Flächengewicht Zink g/m ²	Zinkschichtdicke µm
23 SF	17,27 x 5,09	183,59	25,50
28 SF		164,13	22,80
52 SF		163,42	22,70
56 SF		187,18	26,00
58 SF		191,36	24,72
	Mittel	177,94	24,72

Anlage 22

Tabelle 20: Biegezahlen ausgebauter Nagelplatten
nach Kontakt mit imprägnierten Hölzern

CKB-Salz Probe Nr.	Biegezahlen									Mittel- wert
25 CKB	14	13	12	14	18	16	13	11	15	14,0
28 CKB	12	15	13	12	14	13	12	11	12	12,7
29 CKB	16	15	13	17	14	12	13	17	15	14,7
53 CKB	15	15	14	13	15	15	15	14	15	14,6
55 CKB	12	12	11	13	11	13	15	13	12	12,4
Mittelwert \bar{x}										13,67
Anzahl der Meßwerte n										45
Standardabweichung s										1,72
Variationskoeffizient %										12,57

SF-Salz Probe Nr.	Biegezahlen									Mittel- wert
23 SF	19	13	12	19	15	15	13	12	10	14,2
28 SF	18	13	12	18	22	13	13	13	19	15,7
56 SF	14	15	11	12	13	14	13	14	13	13,2
58 SF	16	13	10	11	12	13	14	13	12	12,7
52 SF	16	14	14	14	15	18	14	14	15	14,9
Mittelwert \bar{x}										14,1
Anzahl der Meßwerte n										45
Standardabweichung %										2,55
Variationskoeffizient %										18,02

DBBOR: 443 ✓

01. April 1987

30 - 0178/001

28/06/2016

